

Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

## Jurnal Dampak

| ISSN (Print) 1829-6084 |ISSN (Online) 2597-5129|



Artikel Penelitian

# Pengaruh Kecepatan Angin, Kelembapan dan Suhu Udara terhadap konsentrasi SO<sub>2</sub> Ambien dan Pemetaan SO<sub>2</sub> Ambien di Sekitar PT. Kawasan Industri Medan

Chandra Iramawati<sup>1)\*</sup>, Muhammad Turmuzi<sup>2)</sup>, Isra' Suryati<sup>1)</sup>, Lies Setyowati<sup>1)</sup>, Eka Lestari Mahyuni<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

<sup>2)</sup>Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

<sup>3)</sup>Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sumatera Utara

### INFORMASI ARTIKEL

#### Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 15 April 2018

Revisi Akhir: 15 Juni 2018

Diterbitkan Online: 31 Juli 2018

### KATA KUNCI

Wind velocity

Moisture

SO<sub>2</sub> concentration

Air temperature

Mapping

### KORESPONDENSI

Telepon: -

E-mail: [Chandrairamawati@rocketmail.com](mailto:Chandrairamawati@rocketmail.com)

### A B S T R A C T

This study aims to determine the effect of wind speed, humidity and air temperature on the concentration of SO<sub>2</sub> in ambient air around PT. Medan Industrial Area (KIM) and to find out the description of SO<sub>2</sub> concentration mapping around KIM. This study was limited to KIM Phase I and II and sampling was carried out at 6 (six) points. The results obtained were the lowest SO<sub>2</sub> concentration of 58.63 µg / m<sup>3</sup> and the highest concentration was 112.91 µg / m<sup>3</sup>. Based on the linear regression test, the result is that the higher the wind speed, the concentration of SO<sub>2</sub> in the area around KIM is lower and 15.1% SO<sub>2</sub> concentration is influenced by wind speed. The higher the humidity of the air, the concentration of SO<sub>2</sub> in the area around KIM is lower and 26% of the concentration of SO<sub>2</sub> is influenced by humidity. The higher the air temperature, the higher the concentration of SO<sub>2</sub> in the area around the KIM and 68.5% the concentration of SO<sub>2</sub> is influenced by air temperature. Based on the results of mapping using the Surfer 11 version, the results obtained in the morning the highest SO<sub>2</sub> concentration was in the southern part of KIM and the lowest SO<sub>2</sub> concentration was in the northwestern part of KIM. During the day, the highest SO<sub>2</sub> concentration was in the eastern part of the KIM and the lowest SO<sub>2</sub> concentration was in the northwestern part of KIM.

### PENDAHULUAN

Kualitas udara di suatu kota bervariasi, tergantung pada kegiatan industri, populasi penduduk, kepadatan lalu lintas, topografi dan kondisi meteorologi daerah tersebut (Dominick, 2015; Celik dan Ibrahim, 2007). Mayer (1999) menyatakan bahwa dengan meningkatnya industrialisasi dan konsumsi energi akan terjadi peningkatan polusi udara yang sangat pesat dan mengancam kesehatan manusia. Di Kota Medan terdapat suatu kawasan yang dikhususkan untuk daerah perindustrian yaitu PT. Kawasan Industri Medan (KIM). KIM memiliki luas total sebesar ±672 Ha yang berada di 2 (dua) wilayah, yaitu Kota Medan dan Kabupaten

Deli Serdang. KIM telah terdiri dari KIM Tahap I, sampai dengan KIM Tahap VI.

Salah satu parameter pencemar yang berasal dari kegiatan industri adalah Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>). SO<sub>2</sub> sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur, terutama batubara dan minyak, SO<sub>2</sub> juga dipancarkan oleh gunung berapi dan sejumlah sumber antropogenik (Godish, 2004; Nevers, 2002). SO<sub>2</sub> adalah kelompok gas yang sangat reaktif dan memiliki efek negatif terhadap sistem pernapasan dan masalah lingkungan lainnya (Roy dan Arhgya, 2015). SO<sub>2</sub> di atmosfer akan teroksidasi menjadi SO<sub>3</sub>, dalam kondisi atmosfer normal SO<sub>3</sub> bereaksi dengan

H<sub>2</sub>O yang akan menghasilkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aerosol atau dikenal dengan “hujan asam” (Asouha dan Osu, 2015).

Faktor yang mempengaruhi pencemaran udara adalah jumlah polutan yang dikeluarkan atau dipancarkan, kondisi meteorologi, dan bentuk susunan sumber (Neiburger *et al.*, 1973; Colls, 2002; Boubel *et al.*, 1994). Faktor meteorologi yang berpengaruh terhadap pencemaran udara diantaranya adalah arah dan kecepatan angin, temperatur dan kelembapan. Prinsip pengukuran gas SO<sub>2</sub> adalah gas SO<sub>2</sub> diserap dalam larutan penyerap tetrakloromercurat menggunakan alat *midget impinger* dan dianalisis menggunakan metode pararosanilin menggunakan spektrofotometer. Metode analisis ini mengacu pada American Public Health Association (APHA) (Lodge, 1988). Sementara itu aspek meteorologi berupa kecepatan angin diukur menggunakan alat anemometer dan kelembapan dan suhu udara diukur menggunakan alat *hygrotermometer*.

Analisis data dilakukan secara analisis statistik dan analisis spasial. Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing aspek meteorologi terhadap konsentrasi SO<sub>2</sub> adalah uji regresi linear (Akpinar *et al.*, 2009; Kavuri *et al.*, 2003; Shi dan Harrison, 1997).

Bentuk umum persamaan regresi linear sederhana adalah:

$$Y_c = a + b X \dots\dots\dots (1)$$

Dengan:

- a = Intersepsi Y<sub>c</sub> bila X=0
- b = Slope garis regresi, menyatakan kenaikan atau penurunan Y<sub>c</sub> untuk setiap perubahan satu unit X
- X = Nilai variabel bebas
- Y<sub>c</sub> = Nilai variabel tak bebas yang dihitung dari persamaan regresi.

Setelah didapatkan hasil uji regresi maka perlu diketahui interval koefisien korelasi (R) antara variabel X dan variabel Y maka dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel. Interpretasi terhadap Koefisien Korelasi

Interval Koefisien Korelasi (R)	Tingkat Hubungan
0 < IRI < 0,3	Lemah
0,3 < IRI < 0,7	Sedang
IRI > 0,7	Kuat

Sumber : Devorse, 2004.

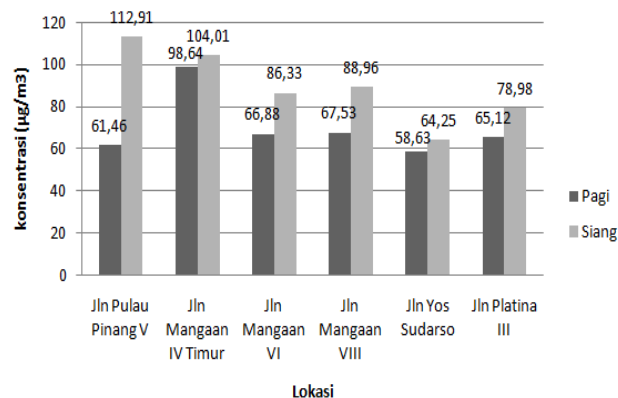
Selanjutnya ditentukan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) untuk menentukan besar pengaruh kecepatan angin, kelembapan dan suhu udara terhadap konsentrasi SO<sub>2</sub> di udara ambien sekitar KIM.

Analisis spasial dilakukan menggunakan program Surfer versi 11. Analisis spasial bertujuan untuk mendapatkan pemetaan konsentrasi SO<sub>2</sub> di udara ambien sekitar KIM. Data yang dimasukkan pada Surfer adalah *longitude* sebagai sumbu X, *latitude* sebagai sumbu Y dan konsentrasi SO<sub>2</sub> di sumbu Z (Bachtiar *et al.*, 2015).

Prosedur yang dilakukan untuk pemetaan konsentrasi SO<sub>2</sub> menggunakan Surfer versi 11.0 adalah *entry data*, pembuatan *file grid* dan pembuatan peta kontur.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran konsentrasi sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dapat dilihat pada Gambar 2.



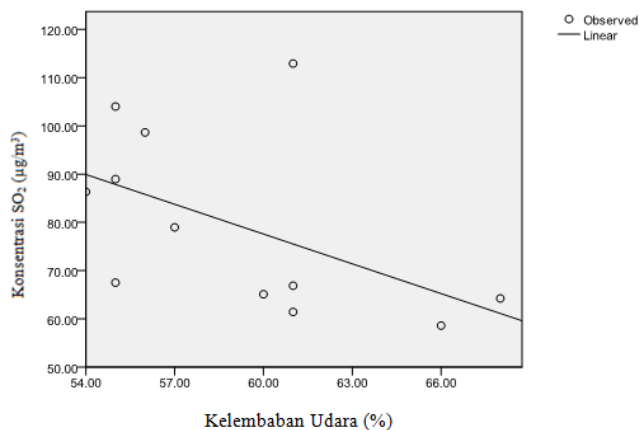
Hasil uji statistik diperoleh hasil bahwa nilai korelasi (R) sebesar 0,510. Artinya adalah tingkat hubungan antara kelembapan udara dan konsentrasi SO<sub>2</sub> adalah sedang. Nilai R pada kategori sedang adalah 0,40-0,599. Nilai koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) yang diperoleh adalah 0,260. Nilai R<sup>2</sup> menyatakan bahwa kelembapan udara mempengaruhi konsentrasi SO<sub>2</sub> sebesar R<sup>2</sup> = 0,260 atau 26 % konsentrasi SO<sub>2</sub> di sekitar KIM dipengaruhi oleh kelembapan udara. Untuk sisanya 74 % dipengaruhi oleh faktor lain diluar kelembapan udara.

Berdasarkan hasil uji regresi, diperoleh nilai koefisien regresi a = 200,962 dan nilai koefisien regresi b = -2,056, sehingga persamaan regresinya dapat ditulis:

$$Y = 200,962 + (-2,056)x$$

Keterangan : Y = Konsentrasi SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)  
x = Kelembapan Udara (%)

Untuk lebih jelasnya hasil regresi antara kelembapan udara dan konsentrasi SO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Regresi Konsentrasi SO<sub>2</sub> dan Kelembapan Udara

Pada Gambar 4, terdapat garis linear yang terbentuk dari persamaan  $Y = 200,962 + (-2,056)x$ . Garis ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi  $SO_2$  di sekitar KIM seiring dengan bertambahnya kelembapan udara. Hal tersebut disebabkan oleh sifat  $SO_2$  yang mudah berikatan dengan uap air (Sidebottom *et al.*, 1972; Asouha dan Osu, 2015). Dominick *et al.* (2013) menyatakan bahwa kelembapan relatif yang tinggi biasanya terkait dengan curah hujan. Hujan dapat mencuci polutan di udara ambien. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Bhaskar dan Vikram (2010), deposisi basah (*wet deposition*) oleh curah hujan atau penghapusan basah adalah salah satu mekanisme utama untuk menghilangkan  $SO_2$  dari atmosfer.

Hasil uji statistik diperoleh hasil bahwa nilai korelasi (R) sebesar 0,828. Artinya adalah tingkat hubungan antara suhu udara dan konsentrasi  $SO_2$  adalah kuat. Nilai R pada kategori sangat kuat adalah 0,80-1,000.

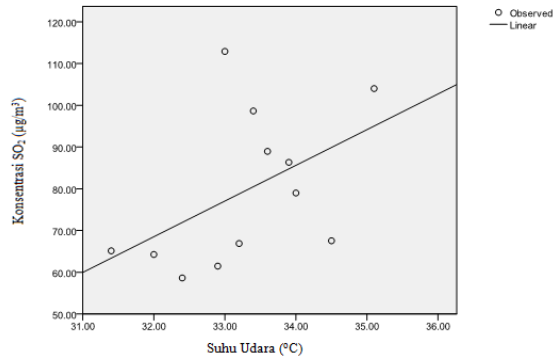
Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang diperoleh adalah sebesar 0,685. Nilai  $R^2$  menyatakan bahwa suhu udara mempengaruhi konsentrasi  $SO_2$  sebesar  $R^2 = 0,685$  atau 68,5 % konsentrasi  $SO_2$  di sekitar KIM dipengaruhi oleh suhu udara. Untuk sisanya 31,5 % dipengaruhi oleh faktor lain diluar suhu udara.

Berdasarkan hasil uji regresi, diperoleh nilai koefisien regresi a = -397,351 dan nilai koefisien regresi b = 14,344, sehingga persamaan regresinya dapat ditulis:

$$Y = -397,351 + 14,344x$$

Keterangan : Y = Konsentrasi  $SO_2$  ( $\mu g/m^3$ )  
x = Suhu Udara ( $^{\circ}C$ )

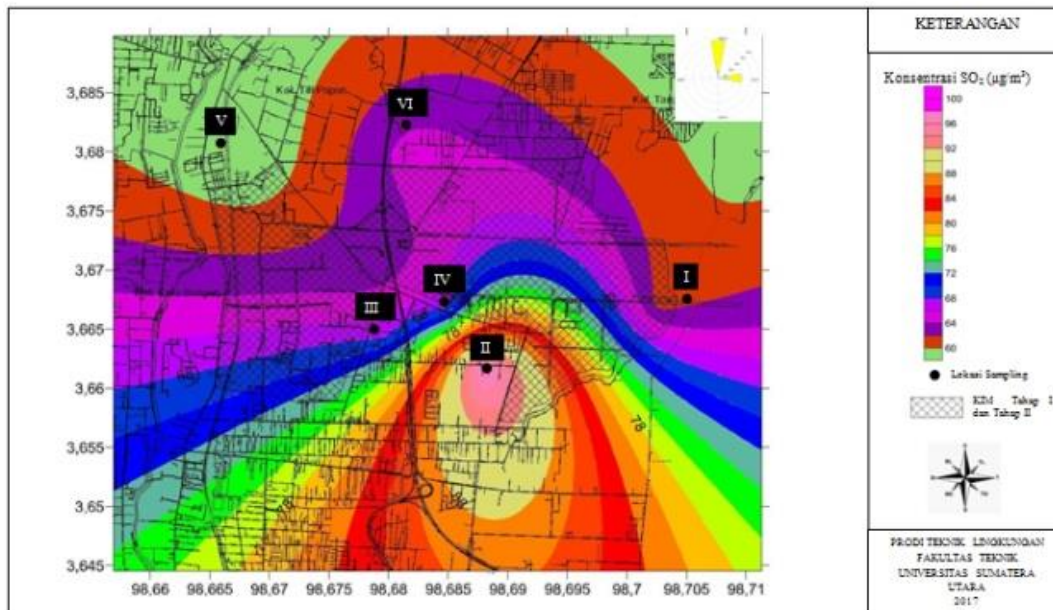
Untuk lebih jelasnya hasil regresi antara suhu udara dan konsentrasi  $SO_2$  dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Regresi Konsentrasi  $SO_2$  dan Suhu Udara

Pada Gambar 5, terdapat garis linear yang terbentuk dari persamaan  $Y = -397,351 + 14,344x$ . Garis ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan konsentrasi  $SO_2$  seiring dengan meningkatnya suhu udara. Hasil ini juga sesuai dengan pernyataan Dominick *et al.* (2015); Garcia *et al.* (2015); dan Asouha dan Osu (2015), bahwa suhu udara berkorelasi positif terhadap polutan. Korelasi positif adalah setiap peningkatan variabel suhu udara maka variabel konsentrasi  $SO_2$  juga meningkat. Suhu yang meningkat pada permukaan bumi dapat menyebabkan penurunan kelembapan udara (Lutgens dan Edward, 2013). Jika kelembapan udara rendah, maka  $SO_2$  yang berikatan dengan  $H_2O$  hanya sedikit. Hal tersebut mengakibatkan tingginya konsentrasi  $SO_2$  hasil pengukuran. Pada suhu yang meningkat akan meningkat pula kecepatan reaksi suatu bahan kimia.

Gambaran pemetaan konsentrasi  $SO_2$  di sekitar KIM dibuat menggunakan program Surfer Versi 11. Ibe *et al.* (2016); Bachtiar *et al.* (2015); dan Bozyazi *et al.* (2000), telah melakukan pemetaan kualitas udara menggunakan program Surfer. Hasil pemetaan konsentrasi  $SO_2$  pada pagi hari dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Pemetaan Konsentrasi  $SO_2$  di Sekitar KIM Pada Pagi Hari

Berdasarkan hasil pemetaan pada pagi hari, konsentrasi  $SO_2$  tertinggi berada di bagian Selatan dari KIM Tahap I dan

Tahap II, tepatnya di titik II yang berada di Jalan Mangan IV Timur, Kelurahan Mabar Hilir, Kecamatan Medan Deli.

Konsentrasi SO<sub>2</sub> di titik II ini adalah 98,64 µg/m<sup>3</sup>. Lokasi ini merupakan area pemukiman.

Konsentrasi SO<sub>2</sub> terendah pada pagi berada pada barat laut KIM Tahap I dan Tahap II, yaitu hasil pengukuran pada titik V di Jalan Yos Sudarso, Kelurahan Titi Papan, Kecamatan Medan Deli. Konsentrasi SO<sub>2</sub> pada titik V adalah 58,63 µg/m<sup>3</sup>. Lokasi ini merupakan area pemukiman dan sekolah.

Konsentrasi tertinggi berada pada daerah selatan disebabkan oleh arah angin dominan pada *windrose* adalah ke arah selatan, sehingga SO<sub>2</sub> yang berasal dari KIM terbawa oleh angin menuju arah selatan. Jika ditinjau dari aspek meteorologi, kelembapan udara pada titik II (56 %) lebih rendah dibandingkan dengan titik I (61 %), titik V (66 %) dan titik VI (60 %). Pada kelembapan udara yang tinggi, SO<sub>2</sub> akan mudah berikatan dengan uap air atau disebut juga deposisi basah (*wet deposition*) (Bhaskar dan Vikram, 2010; Colls, 2002; Siddebottom *et al.*, 1972). Suhu udara tertinggi adalah hasil pengukuran pada lokasi II (34,10 °C) dan suhu terendah adalah hasil pengukuran pada lokasi V (31,40 °C).

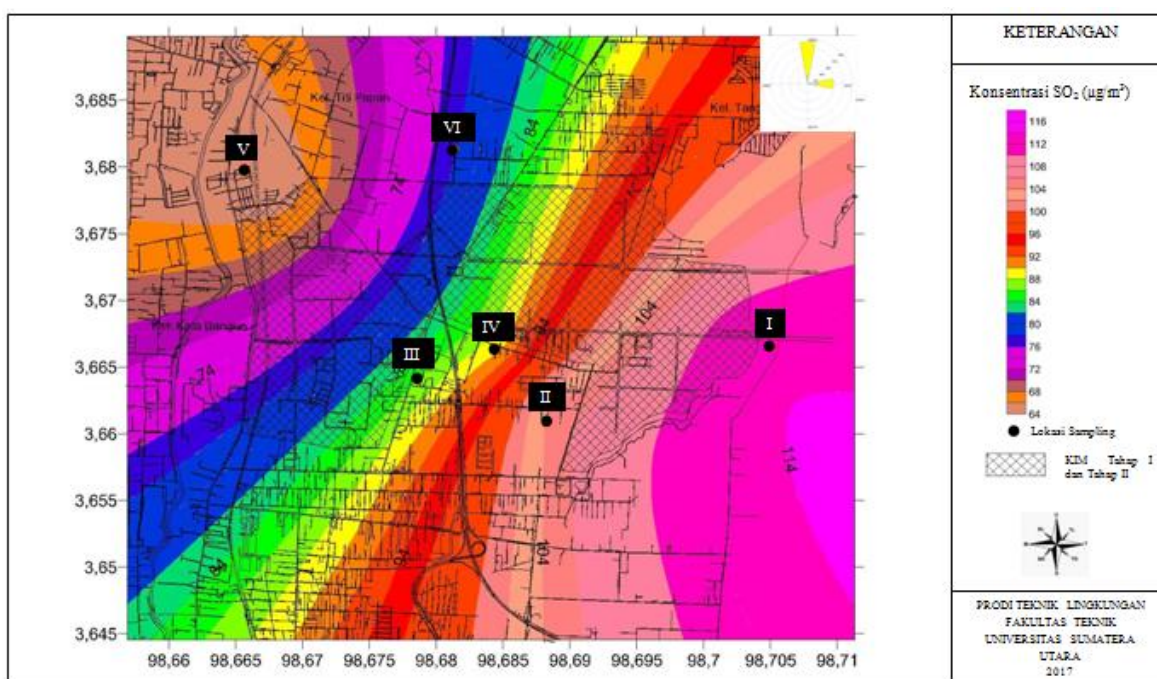
Suhu udara yang tinggi dapat menyebabkan rendahnya kelembapan udara, sehingga tidak banyak SO<sub>2</sub> yang terdeposisi. Kecepatan angin pada lokasi II adalah kecepatan angin terendah yaitu 0,68 m/s dan kecepatan angin tertinggi adalah pada lokasi V (1,67 m/s). Kecepatan angin yang tinggi akan menyebabkan polutan terdispersi (Tasic *et al.*, 2013; Mkoma dan Mjemah, 2011).

Hasil pemetaan konsentrasi SO<sub>2</sub> pada siang hari dapat dilihat pada Gambar 7. Dari Gambar 7, dapat dilihat bahwa konsentrasi SO<sub>2</sub> tertinggi berada di bagian timur dari KIM Tahap I dan Tahap II. Konsentrasi SO<sub>2</sub> tertinggi adalah 112,91 µg/m<sup>3</sup>, yaitu hasil pengukuran pada titik I di Jalan Pulau Pinang V, Kelurahan Sampali, Kecamatan Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang.

Lokasi sampling pada pada titik I dikelilingi oleh beberapa industri. Industri yang berada di sekitar lokasi ini adalah PT. Agri First Indonesia (industri penghasil tepung), Kamadjaja Logistic Medan (gudang penyimpanan), PT. Cerestar (industri penghasil tepung) dan PT. Centralprotenia Prima (industri penghasil produk bibit, pakan hewan peliharaan, probiotik, produk udang dan makanan olahan).

Konsentrasi SO<sub>2</sub> terendah hasil pemetaan pada siang hari berada pada barat laut KIM Tahap I dan Tahap II dan konsentrasinya adalah 64,25 µg/m<sup>3</sup>, yaitu pada titik V di Jalan Yos Sudarso, Kelurahan Titi Papan, Kecamatan Medan Deli.

Jika ditinjau dari aspek meteorologi, kelembapan udara pada titik I (61 %) lebih rendah dibandingkan dengan titik V (68 %). Kecepatan angin pada titik I ini adalah 0,93 m/s sedangkan kecepatan angin tertinggi adalah 2,50 m/s. Suhu udara juga berpengaruh terhadap tingginya konsentrasi SO<sub>2</sub>, suhu udara pada lokasi ini adalah 33,60 °C.



Gambar 7 Pemetaan Konsentrasi SO<sub>2</sub> di Sekitar KIM Pada Siang Hari

**SIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dan analisis data yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi SO<sub>2</sub> terendah adalah 58,63 µg/m<sup>3</sup> yaitu pengukuran pada pagi hari di Jalan Yos Sudarso dan konsentrasi tertinggi adalah

112,91 µg/m<sup>3</sup> yaitu pengukuran pada siang hari di jalan Pulau Pinang V.

Pengaruh aspek meteorologi terhadap konsentrasi SO<sub>2</sub> di sekitar KIM adalah semakin tinggi kecepatan angin maka konsentrasi SO<sub>2</sub> semakin rendah dan 15,1 % konsentrasi SO<sub>2</sub>

dipengaruhi oleh kecepatan angin. Semakin tinggi kelembapan udara maka konsentrasi SO<sub>2</sub> semakin rendah dan 26 % konsentrasi SO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh kelembapan udara. Semakin tinggi suhu udara maka konsentrasi SO<sub>2</sub> semakin tinggi dan 68,5 % konsentrasi SO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh suhu udara. Berdasarkan hasil pemetaan, diperoleh pada pagi hari konsentrasi SO<sub>2</sub> tertinggi berada pada bagian selatan KIM yaitu 98,64 µg/m<sup>3</sup> dan konsentrasi SO<sub>2</sub> terendah berada pada bagian barat laut KIM yaitu 58,63 µg/m<sup>3</sup>. Pada siang hari, konsentrasi SO<sub>2</sub> tertinggi berada pada bagian timur KIM yaitu 112,91 µg/m<sup>3</sup> dan konsentrasi SO<sub>2</sub> terendah berada pada bagian barat laut KIM yaitu 64,25 µg/m<sup>3</sup>.

## REFERENSI

- Akpinar, E. K., Sinan A. dan Hakan F.Ö. (2009). *Statistical analysis of meteorological factors and air pollution at winter months in Elazig, Turkey. Journal of Urban and Environmental Engineering*. Vol 3, No. 1.
- Asouha, A. N. dan Osu C. I. (2015). *Seasonal variation of meteorological factors on air parameters and the impact of gas flaring on air quality of some cities in Niger Delta (Ibena and its environs). African Journal of Environmental Science and Technology*, Vol 9, No. 3.
- Bachtiar, V.A., Slamet R., Yenni R., Fitra H., dan Desi R.K. (2015). *Mapping of Ozone Gas (O<sub>3</sub>) Concentration in Padang City. Procedia Engineering* 125, 291-297.
- Bhaskar, B. V. dan Vikram M. M. (2010). *Atmospheric Particulate Pollutants and their Relationship with Meteorology in Ahmedabad. Journal of Aerosol and Air Quality Research*, Vol 10.
- Boubel, R. W., Donald L. F. D., Bruce T. dan Arthur C. S. (1994). *Fundamentals of Air Pollution*. USA: Academic Press.
- Bozyazi, E., S. Incecik., C. Mannaerts and M. Brusse. (2000). *Analysis and Mapping of Air Pollution Using a GIS Approach: A Case Study of Istanbul. Air Pollution VIII* ISBN 1-85312-822-8.
- Celik, M.B dan Ibrahim Kadi. (2007). *The Relation Between Meteorological Factors and Pollutans Cncentrations in Karabuk City. Journal of Science*. Karabuk University Turkey. Vol 20, No. 4.
- Colls, J. (2002). *Air Pollution*. London and New York: Spon Press.
- Devore, J.L. (2004). *Probability and Statistics for Engineering and The Sciences*, Sixth Edition. Belmont, CA: Thomson Learning.
- Dominick, D., Mohd T. L., Hafizan J., Ahmad Z. A. dan Sharifuddin M. Z. (2015). *An Assessment of Influence of Mereorological Factors on PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> at Selected Station in Malaysia. Sustainable Environment Research* Vol 22, No.5.
- Garcia, S. E. B., Isao K., Yukio O., Shinji W., Roberto B., Nobuji H., Jose A. O., Victor R. R. B. dan Beatriz C. (2015). *Investigation of Vertical Profiles of Meteorological Parameters and Ozone Concentration in the Mexico City Metropolitan Area. Asian Journal of Atmospheric Environment*, Vol 9, No.2.
- Godish, T. 2004. *Air Quality 4th Edition*. Lewis Publishers. New York.
- Habeebullah, T. M., Said M., Abdel H. A. A. A., Essam A. M., Abdulaziz R. S. dan Atif M. F. M. (2015). *The interaction between air quality and meteorological factors in an Arid Environment of Makkah, Saudi Arabia. International Journal of Environmental Science and Development*, Vol 6, No. 8.
- Ibe F.C., Njoku P.C., Alinnor J.I. and Opara A.I. (2016). *Spatial Variation of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> in The Ambient Environment of Imo State, Nigeria. International Journal of Science*, Vol. 5, No.1.
- Kavuri N.C., Paul K.K dan Roy N. (2013). *Regression modeling of Gaseous Air Pollutants and Meteorological Parameters in a Steel City, Rourkela, India. Journal of Recent Sciences*, Vol 2.
- Lodge, J. (1998). *Methods of air sampling and analysis, Third edition*, APHA. Washington.
- Lutgens, Frederick K dan Edward J. Tarbuck. (2013). *The Atmosphere an Introduction to Meteorology*. Boston: Pearson.
- Mayer, Helmut. (1999). *Air Pollution in Cities. Journal of Atmospheric Environment*, Vol. 33 Hal 4029-4037.
- Mkoma, A.L. dan Mjemah, I. C. (2011). *Influence of Meteorology on Ambient Air Quality in Morogoro, Tanzania. International Journal of Environmental Sciences*, Vol 1, No.6.
- Neiburger, M., James G. E. dan William D. B. (1973). *Understanding our Atmospheric environment. W.H.Freeman & Co Ltd*.
- Nevers, N. D. (2000). *Air Pollution Control Engineering*. Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Roy, P. dan Arghya S. (2015). *SO<sub>2</sub> Emission Control and Finding a Way Out to Produce Sulphuric Acid from Industrial SO<sub>2</sub> Emission. Journal of Chemical Engineering and Process Technology*, Vol 6, No. 2.
- Shi J., Harrison R. (1997). *Regression Modelling of Hourly NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub> Concentrations in Urban Air in London*, Journal of Atmospheric Environment.
- Sidebottom H.W., Badcock C.C., Jackson G.E., Calvert J.G., Reinhardt G.W. and Damon E.K. (1972). *Photooxidation of Sulfur Dioxide, Environ. Sci. Technol.*, Vol 6, No.1.
- Tabinda, A. B., Saleha M., Abdullah Y. dan Asad I. (2014). *Seasonal and Temporal Variations of Criteria Air Pollutans and The Influence of Meteorological Parameter on the Concentration of Pollutans in Ambient Air in Lahore, Pakistan*, Vol 59, No.1.
- Tasić, V., Renata K. dan Novica M. (2013). *Investigating the Impact of Winds on SO<sub>2</sub> Concentrations in Bor, Serbia. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, Vol 1, No. 2.